

UNITED STATES PATENT & TRADEMARK OFFICE

Examiner:

Group:

J.F.  
#5  
9-3-98

Applicant(s): POHLMANN, R.

Filed : Simultaneously

Serial No. :

For : AN ARRANGEMENT FOR DETERMINING THE  
PENETRATION DEPTH ON PUTTING IN...

9564 U.S. Pro  
08/916106  
08/21/97

August 21, 1997

Hon. Commissioner of Patents  
and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Applicant herewith claims Convention Priority of the foreign patent application referred to in the Declaration of the present application. In accordance with Rule 55, a certified copy of the foreign application is herewith submitted.

Respectfully,

~~Michael J. Striker~~  
Attorney for Applicant(s)  
Reg. No. 27233

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



69564 U.S.P.T.O.  
08/91610  
08/21/99

## Bescheinigung

Die MENCK GmbH in Ellerau/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Einrichtung zur Bestimmung der Eindringtiefe beim Einbringen von Stützelementen in einen Gewässergrund"

am 22. August 1996 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patentamt vorläufig das Symbol E 02 D 33/00 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 4. August 1997

Der Präsident des Deutschen Patentamts

Im Auftrag

Aktenzeichen: 196 33 803.4

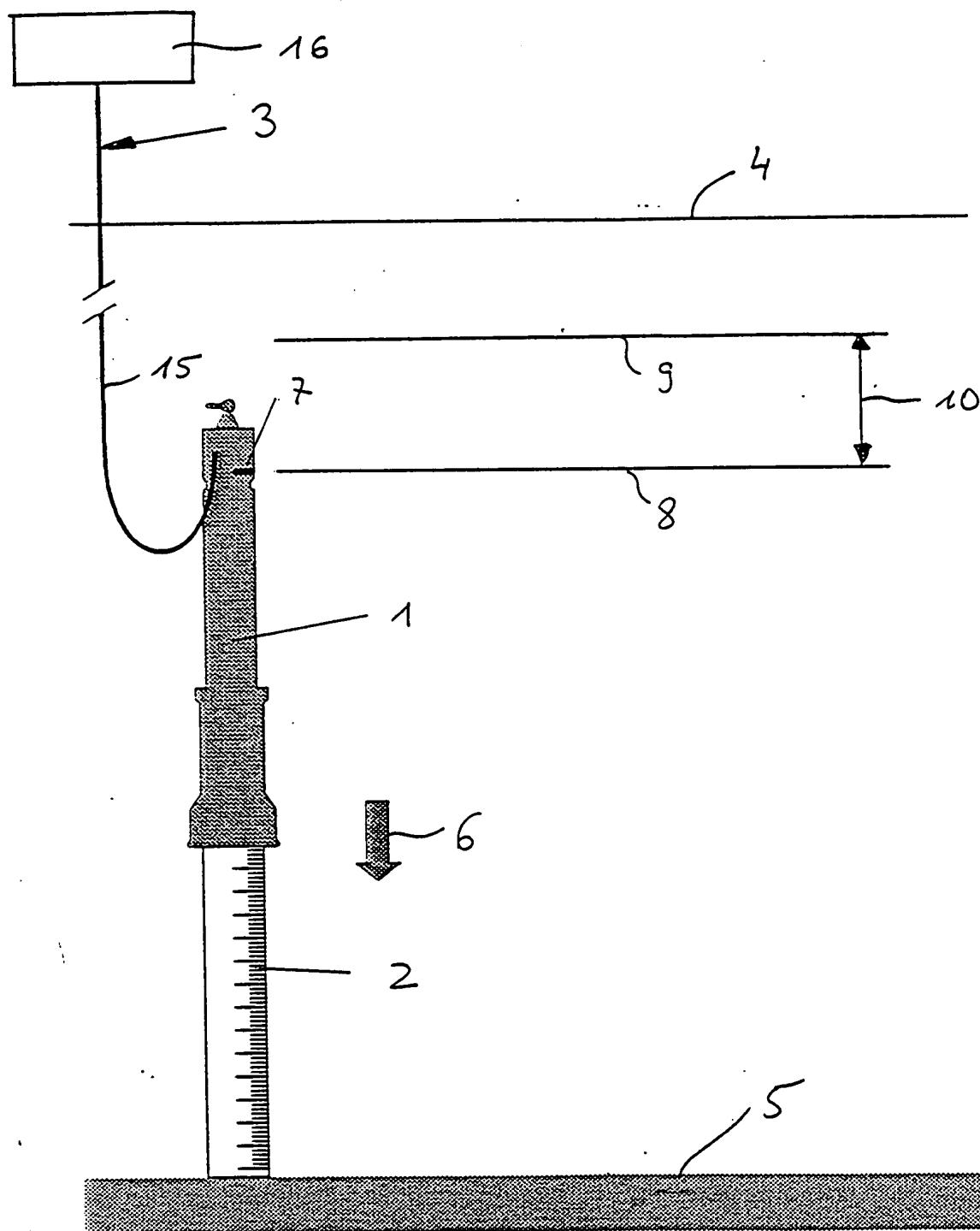
Zusammenfassung

5      Einrichtung zur Bestimmung der Eindringtiefe beim  
          Einbringen von Stützelementen in einen Gewässergrund

Bei einer Einrichtung zur Bestimmung der Eindringtiefe (10) beim Einbringen von Stützelementen (2) in einen Gewässergrund (5) ist erfindungsgemäß ein Drucksensor (7) zur Messung des Wasserdrucks vorgesehen, der am Stützelement (2) oder an einer mit dem Stützelement (2) verbundenen Vorrichtung (1) befestigbar ist. Die vom Drucksensor (7) gelieferten Meßwerte (11) werden über eine Signalleitung (15) an eine Auswerteeinheit (16) übertragen, die die Eindringtiefe (10) des Stützelements (2) aus Meßwertdifferenzen bestimmt, die infolge des Absinkens des Drucksensors (7) beim Eindringen des Stützelements (2) in den Gewässergrund (5) auftreten.

(Fig. 1).

Fig. 1



5       Einrichtung zur Bestimmung der Eindringtiefe beim  
          Einbringen von Stützelementen in einen Gewässergrund

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung der Eindringtiefe beim Einbringen von Stützelementen in einen Gewässergrund.

- 10      Bei der Einbringung von Pfählen oder Trägern in einen Gewässergrund werden oft Informationen über deren Tragfähigkeit verlangt. Im allgemeinen werden dazu an den einzubringenden Trägerelementen Markierungen in festen Abständen angebracht und die Anzahl der
- 15      Ramschläge gezählt, die durch eine Rammvorrichtung aufgebracht werden müssen, um eine bestimmte Eindringtiefe des Trägerelements zu erreichen. Die Anzahl der Ramschläge lassen unter Berücksichtigung der aufgebrachten Energie einen Rückschluß auf die
- 20      Bodenverhältnisse und die Tragfähigkeit zu. Das bekannte Verfahren eignet sich sowohl für das Einbringen von Trägerelementen über Wasser oder an Land, als auch für Gründungsarbeiten, bei denen sich Trägerelement und Rammgerät unter Wasser befinden.
- 25      Im Falle der Unterwasserrammung, die in Tiefen von mehr als 1000 m stattfinden kann, wird bei einer bekannten Einrichtung zur Bestimmung der Eindringtiefe eine Unterwasserkamera eingesetzt, die einen optische Kontrolle der Markierungen an den
- 30      Stützelementen ermöglicht. Die bekannte Einrichtung hat einerseits den Nachteil, daß Unterwasserkameras störungsanfällig sind und bei Ausfall zu kostenträchtigen Unterbrechungen des Rammbetriebs führen. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß zur
- 35      Überwachung der Einbringung von Trägerelementen eine Person erforderlich ist, die einen Monitor beobachtet

und den Fortschritt des Eindringens manuell protokolliert.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Einrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung der Eindringtiefe beim  
5 Einbringen von Stützelementen in einen Gewässergrund anzugeben, das auf einfachen Grundlagen beruht, wenig störanfällig und automatisierbar ist.

Diese Aufgabe wird von einer erfindungsgemäßen Einrichtung gelöst, die durch einen an dem  
10 Stützelement oder an einer mit dem Stützelement verbundenen Vorrichtung befestigbaren Drucksensor zur Messung des Wasserdrucks, durch eine Vorrichtung zur Übertragung der vom Drucksensor gelieferten Meßwerte und durch eine Auswerteeinheit zur Bestimmung von  
15 Meßwertdifferenzen, die infolge des Absinkens des Drucksensors beim Eindringen des Stützelements in den Gewässergrund auftreten, gekennzeichnet ist.

Die Verfahrensaufgabe wird unter Verwendung eines zur Messung von Wasserdruck geeigneten und unter Wasser  
20 an einem Stützelement oder an einer mit dem Stützelement verbundenen Vorrichtung befestigten Drucksensors durch die nachfolgenden Verfahrensschritte gelöst:

- vor Beginn oder während des Einbringens eines Stützelements wird ein erster Meßwert des Drucksensors gemessen und als Referenzwert festgehalten;
- nach Aufwendung eines bestimmten Energiebetrags für das Einbringen des Stützelements bzw. nach Ablauf des dafür erforderlichen Zeitintervalls wird ein weiterer Meßwert des Drucksensors gemessen und festgehalten;

- aus der Differenz des vorhergehenden und des weiteren Meßwerts wird die durch das zwischenzeitliche Einbringen erzielte Eindringtiefe berechnet, vorzugsweise durch Multiplikation der Differenz mit einem geeigneten Kalibrierungsfaktor;
  - falls die gewünschte Eindringtiefe noch nicht ausreicht, werden die Verfahrensschritte ab dem zweiten Verfahrensschritt wiederholt.
- 10 Die erfindungsgemäße Einrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren haben den Vorteil, daß statt einer kompliziert aufgebauten, hochsensiblen und störanfälligen Unterwasserkamera im wesentlichen nur der Drucksensor am Ort der Gründungsarbeiten unter Wasser in großer Tiefe untergebracht sein muß. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß der Drucksensor lediglich an dem Stützelement oder an der mit dem Stützelement verbundenen Vorrichtung befestigt werden muß, ohne daß es wie bei der
- 15 Unterwasserkamera einer genauen Justierung bedarf. Im Prinzip besteht die Erfindung darin, daß der Drucksensor entsprechend dem Absinken des Stützelements in den Gewässergrund ebenfalls abgesenkt wird und daß aus der Wasserdruckdifferenz im abgesenkten und im nicht abgesenkten Zustand eine Höhendifferenz errechnet wird.
- 20 Dabei ist es weder erforderlich, daß der Drucksensor mit dem Stützelement in den Gewässerboden abgesenkt wird, noch daß er starr an dem Stützelement befestigt ist. Vielmehr kann der Drucksensor in beträchtlicher Höhe oberhalb des Stützelements, beispielsweise an der das Stützelement in den Gewässerboden einbringenden Vorrichtung befestigt sein. Möglich wäre auch eine Befestigung des Drucksensors an einem
- 25 mit der Vorrichtung einerseits und einem festen Punkt
- 30
- 35

andererseits in Verbindung stehenden Hebelarm, der die Absinkbewegung des Stützelements in eine beispielsweise größere Absenkung des Drucksensors überträgt.

- 5 Eine Auswerteeinheit zur Bestimmung der Meßwertdifferenzen, die infolge des Absinkens des Drucksensors beim Eindringen des Stützelements in den Gewässergrund auftreten, ist vorzugsweise über Wasser, beispielsweise auf einem Schiff  
10 untergebracht, kann aber auch unter Wasser, beispielsweise direkt am Drucksensor oder in einer unter Wasser befindlichen Tauchstation zur Überwachung untergebracht sein.

Die Meßwerte gelangen vom Drucksensor durch eine  
15 Übertragungsvorrichtung in die Auswerteeinheit. Dabei kann die Übertragung der Meßwerte drahtlos geschehen, beispielsweise durch Schallsignale.

In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung ist jedoch vorgesehen,  
20 daß der Drucksensor als Meßwerte elektrische Signale liefert, und daß diese Signale oder aus diesen durch Umwandlung gewonnene Signale über eine elektrische Signalleitung zur Auswerteeinheit übertragen werden. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft bei  
25 einem Rammssystem, das einen auf einem Pfahl sitzenden Rammhammer aufweist, der durch eine oder mehrere Versorgungsleitungen mit einem Arbeitsschiff verbunden ist. Die ohnehin zur Energie-, Luft-, Öl- und Signalübertragung vorgesehenen  
30 Versorgungsleitungen können auf einfache Weise mit der elektrischen Signalleitung für den Drucksensor ergänzt werden. Der Drucksensor selbst ist am Rammhammer fest angebracht.

Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden im allgemeinen viele Meßwerte des Drucksensors an die Auswerteeinheit übertragen. Zwischen der Übertragung zweier Meßwerte wird das Stützelement, 5 beispielsweise ein Pfahl, durch den Rammhammer unter Aufwendung eines bestimmten Energiebetrags, der sich beispielsweise aus der Zahl der Rammschläge abschätzen lässt, weiter in den Gewässerboden eingebracht. Um die Tragfähigkeit des Stützelements 10 abschätzen zu können, muß auch der eingebrachte Energiebetrag registriert werden, beispielsweise durch Zählen der Rammschläge. Die Zahl der Rammschläge kann dann ebenfalls durch eine Signalleitung an die Auswerteeinheit übertragen 15 werden.

Um all diese Daten automatisch zu verarbeiten, ist es vorteilhaft, wenn die Auswerteeinheit einen Computer umfaßt, der die Meßwerte automatisch erfaßt und speichert. Durch diese Maßnahme kann man die 20 erfindungsgemäße Einrichtung automatisch betreiben und auf eine ständige Überwachung durch eine dafür vorgesehene Person verzichten, wobei gleichzeitig Fehler der überwachenden Person beim Protokollieren der Meßwerte vermieden werden.

25 Die Erfassung und Speicherung der Meßwerte kann zu vorbestimmten Zeitpunkten oder in regelmäßigen Zeitintervallen erfolgen, sie kann aber auch jeweils nach Aufwendung eines bestimmten Energiebetrags für das Einbringen des Stützelements, beispielsweise nach 30 einer bestimmten Anzahl von Rammschlägen erfolgen.

In Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß der Computer aus den Meßwertdifferenzen ständig die Eindringtiefe berechnet und anzeigt. Dadurch wird eine gelegentliche Kontrolle durch eine 35 Überwachungsperson ermöglicht.

- Um eine Verwendung der erfindungsgemäßen Einrichtung bei den in Frage kommenden Wassertiefen bis etwa 2000 m zu ermöglichen und gleichzeitig eine Messung der Eindringtiefe mit einer Genauigkeit von etwa 1 cm zu gewährleisten, wird empfohlen, daß der Drucksensor zur Messung von absoluten Drücken in der Größenordnung von 200 bar geeignet ist und eine Meßgenauigkeit in der Größenordnung von 1 mbar aufweist.
- 10 In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung besteht das Signal des Drucksensors aus einer analogen elektrischen Größe, vorzugsweise einem Strom, der über einen Analog-Digital-Wandler in ein digitales Signal umgewandelt 15 und zur Auswerteeinheit übertragen wird. Diese Ausführungsform wird insbesondere empfohlen, wenn sich der Drucksensor in einer großen Wassertiefe, beispielsweise in 2000 m Tiefe, und die Auswerteeinheit an der Wasseroberfläche befindet. In 20 diesem Fall kommt wegen der großen Übertragungsstrecke für die Übertragung des Meßsignals mit höchster Genauigkeit nur eine digitale Übertragung in Frage.
- 25 Eine Wassertiefe von 2000 m erfordert einen Drucksensor, der Absolutdrücke bis etwa 200 bar bei einer Auflösung von 1 bis 2 mbar messen kann. Zur Übertragung eines derartig großen Meßbereichs mit der erforderlichen Meßgenauigkeit wäre ein Analog-Digital-Wandler mit einer digitalen Auflösung von 30 mindestens 18 Bit erforderlich. Derartige Analog-Digital-Wandler sind aufwendig und teuer.
- 35 Alternativ kommen auch Drucksensoren in Frage, die einen Ausgang mit einer vom Druck abhängigen Frequenz oder einen digital seriellen Ausgang aufweisen und dadurch die erforderliche Auflösung ermöglichen.

Handelsübliche und kostengünstige Analog-Digital-Wandler weisen lediglich eine digitale Auflösung von 12 Bit auf. Wenn der Meßbereich für die Wassertiefe von 0 bis 2000 m reichen soll, ist bei einer

5 Signalübertragung mit 12 Bit nur eine Meßgenauigkeit von 0,5 m bis 1 m möglich, obwohl das analoge Signal des Sensors eine wesentlich höhere Genauigkeit bietet.

10 Zur Lösung dieses Problems ist in einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, daß zwischen dem Drucksensor und dem Analog-Digital-Wandler ein elektronischer Subtrahierer und ein Verstärker geschaltet sind, womit ein vorwählbarer Teilmeßbereich über den gesamten Umwandlungsbereich des Analog-Digital-Wandlers gespreizt werden kann. Dadurch steht die volle Auflösung des Analog-Digital-Wandlers für einen kleineren analogen Teilbereich zur Verfügung. Wenn beispielsweise der analoge Teilmeßbereich von 2000 m auf ungefähr 80 m verkleinert wird, kann mit einem 12-Bit-Analog-Digital-Wandler eine Auflösung von 2 cm erreicht werden.

25 Eine weitere Alternative stellt die Verwendung von Drucksensoren mit integrierter Logik zur hochgenauen Meßwerterfassung und digitaler Datenübertragungsschnittstelle dar.

30 Wenn der Drucksensor an einem zum Einrammen von Pfählen in den Gewässerboden dienenden Rammhammer befestigt ist und die Versorgungsleitungen des Rammhammers auch die Signalleitung des Drucksensors umfaßt, ist es zweckmäßig, daß ein für die Überwachung und Steuerung des Rammhammers bestimmter Computer auch zur Erfassung, Speicherung und Auswertung der Meßwerte des Drucksensors dient. Ein besonderer Computer für die Bestimmung der

Eindringtiefe ist dabei nicht erforderlich.

Vorzugsweise registriert dieser Computer auch die Anzahl der Rammerschläge und berechnet die dafür aufgewandte Energiesumme.

- 5 Bei der einfachsten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Eindringtiefe aus der Differenz des vorhergehenden und des weiteren Meßwerts bestimmt, indem die Differenz mit einem geeigneten Kalibrierungsfaktor multipliziert wird.
- 10 Dadurch erhält man im allgemeinen eine ausreichende Meßgenauigkeit, da unter idealen Bedingungen der Kalibrierungsfaktor in erster Näherung für alle Meßwerte gleich groß ist. Reale Drucksensoren zeigen allerdings insbesondere an den Grenzen ihres
- 15 Meßbereichs ein nichtlineares Verhalten. Zur Steigerung der Meßgenauigkeit können daher in Abhängigkeit der absoluten Höhe des Meßwerts verschiedene Kalibrierungsfaktoren verwendet werden. Insbesondere bei Verwendung eines Computers zur
- 20 Berechnung der differentiellen Eindringtiefe kann diese Maßnahme ohne nennenswerten Mehraufwand durchgeführt werden.

- Zur Verbesserung der Linearität und Genauigkeit der Umrechnungsfunktion von Druck in Tiefe wird vorzugsweise eine Gezeitenkompensation und eine ortsabhängige Erdbeschleunigungskompensation vorgenommen sowie eine tiefenabhängige Dichtenänderungsfunktion des Wassers berücksichtigt.

- In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß während eines Meßintervalls weitere Daten aus der zum Einbringen des Stützelements dienenden Vorrichtung genommen und festgehalten werden, insbesondere Daten zur Bestimmung des für das Einbringen des Stützelements erforderlichen Energiebetrags. Durch diese Maßnahme

wird das Verfahren dahingehend verbessert, daß nicht nur eine einfache Bestimmung der Eindringtiefe an sich, sondern auch eine Abschätzung des Widerstands des Gewässerbodens gegen das Einbringen des  
5 Stützelements in der erreichten Eindringtiefe möglich wird.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, daß für jeden festgehaltenen Meßwert auch ein  
10 Zeitpunkt registriert wird. Damit läßt sich bei einer späteren Auswertung der Meßwerte auch der zeitliche Verlauf des Einbringens darstellen.

Das Verfahren kann dadurch noch verbessert werden, daß die aus den Meßwerten berechneten Eindringtiefen  
15 in einem Diagramm dargestellt werden. Dabei können die Eindringtiefen wahlweise über die Zeitintervalle, über die beim Einbringen aufgewandte Energie (Anzahl der Rammschläge) oder auch über die auf eine feste Eindringtiefendifferenz bezogene aufgewendete Energie aufgetragen werden. Die Darstellung in einem Diagramm  
20 hat den Vorteil, daß man auf einen Blick die Geschichte, den Fortschritt und den Status des Einbringvorgangs erfassen kann und etwa infolge von Störungen auftretende Fehlmeßwerte sofort ins Auge fallen.

25 In einer Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, daß vor Beginn der Bestimmung der Eindringtiefe der Meßwert des Drucksensors mittels eines elektronischen Subtrahierers auf nahezu Null herabgesetzt und der verbleibende Restwert mittels eines Verstärkers mit voreinstellbarem Verstärkungsfaktor verstärkt wird, wobei die Größe des Verstärkungsfaktors so vorgewählt wird, daß der verstärkte Restwert bei der maximalen erwarteten Eindringtiefe den höchsten von einem nachgeschalteten Analog-Digital-Wandler  
30 verarbeitbaren Analogwert nicht übersteigt. Die  
35

Vorteile dieser Maßnahme liegen in einer verbesserten Meßgenauigkeit bei einer gegebenen begrenzten digitalen Auflösung des Analog-Digital-Wandlers.

5 Durch die genannte Anpassung des Verstärkungsfaktors wird der verwendete Teilmeßbereich optimal ausgenutzt.

Das Verfahren kann dadurch noch verbessert werden, daß das Herabsetzen des Meßwertes des Drucksensors mittels des Subtrahierers vor Beginn der Bestimmung 10 der Eindringtiefe automatisch erfolgt. Diese Maßnahme vereinfacht die Anwendung des Verfahrens und vermeidet Zeitverluste durch Fehlbedienung.

Die Erfindung kann auch schon durch die Verwendung eines an sich bekannten, zur Messung von Wasserdruck 15 geeigneten Drucksensors für die Bestimmung der Eindringtiefe aus dem beim Einbringen von Stützelementen in einen Gewässergrund auftretenden Druckdifferenzen verwirklicht werden. Dabei ist es zweckmäßig, das weiter oben beschriebene Verfahren 20 anzuwenden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Die Figuren zeigen im einzelnen:

Fig. 1: eine Rammvorrichtung auf dem Meeresgrund 25 mit einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Bestimmung der Eindringtiefe;

Fig. 2: eine Sensoreinheit mit Drucksensor, Subtrahierer, Verstärker und Analog-Digital-Wandler;

30 Fig. 3: eine Sensoreinheit mit Drucksensor und hochauflösendem Analog-Digital-Wandler;

Fig. 4: eine Sensoreinheit mit Drucksensor und Frequenzausgang; und

Fig. 5: eine Sensoreinheit mit Drucksensor und digital serieller Schnittstelle.

5 In Fig. 1 ist eine Rammvorrichtung mit einem Rammhammer 1, einem Pfahl 2 und einem Bündel von Versorgungsleitungen 3 dargestellt. Der Rammhammer 1 ist unter Wasser auf dem Pfahl 2 sitzend angeordnet. Die Rammvorrichtung befindet sich in einer großen  
10 Tiefe unterhalb der Meeresoberfläche 4 und unmittelbar über dem Meeresboden 5, in den der Pfahl 2 eingebracht werden soll. Zum Einrammen des Pfahls 2 übt der Rammhammer 1 auf diesen eine Folge von Rammschlägen aus, wobei sich der Rammhammer 1 zusammen mit dem Pfahl 2 in Pfeilrichtung 6 absenkt.  
15

Am oberen Ende des Rammhammers 1 ist ein Drucksensor 7 zur Messung des Wasserdrucks befestigt. Der Drucksensor 7 mißt den seiner aktuellen Tiefe 8 unter dem Meeresoberfläche 4 entsprechenden  
20 Wasserdruck.

Beim Einsinken des Pfahls 2 in den Meeresboden 5 wird auch der Drucksensor 7 zusammen mit dem Rammhammer 1 abgesenkt, wobei der gemessene Wasserdruck zunimmt. Zur Beginn des Einrammens befand sich der  
25 Drucksensor 7 in einer Anfangstiefe 9 unterhalb der Meeresoberfläche 4, in der ein geringerer Wasserdruck gemessen wurde. Der Tiefenunterschied 10 zwischen der Anfangstiefe 9 und der aktuellen Tiefe 8 entspricht einem Druckunterschied, der durch Subtraktion der jeweils in der Anfangstiefe 9 und der aktuellen  
30 Tiefe 8 gemessenen Wasserdrücke ermittelt wird.

Der Drucksensor nach Fig. 2 liefert einen dem Druck proportionalen elektrischen Strom 11, der über einen

- Analog-Digital-Wandler 12 in ein digitales Signal umgewandelt und zu einer Auswerteeinheit 16 übertragen wird. Zwischen dem Drucksensor 7 und dem Analog-Digital-Wandler 12 ist ein elektronischer Subtrahierer 13 und ein Verstärker 14 geschaltet, die zur Spreizung eines vorwählbaren Teilmeßbereichs des Drucksensors 7 über den gesamten Umwandlungsbereichs des Analog-Digital-Wandlers 12 dienen. Dieser Vorgang wird weiter unten genauer beschrieben.
- Der vom Drucksensor 7 gelieferte Strom 11 wird vom Analog-Digital-Wandler 12 digitalisiert und über eine elektrische Signalleitung 15, die in dem Bündel von Versorgungsleitungen 3 enthalten ist, zu einer auf einem nicht gezeigten Arbeitsschiff befindlichen Auswerteeinheit 16 übertragen. Die Auswerteeinheit 16 umfaßt einen nicht gezeigten Computer, der die Meßwerte automatisch erfaßt, speichert, aus den Meßwertdifferenzen ständig den der Eindringtiefe des Pfahls 2 entsprechenden Tiefenunterschied 10 berechnet und anzeigt.
- Da derartige Rammarbeiten bis in Tiefen von 2000 m unter der Meersoberfläche 4 durchgeführt werden, ist der Drucksensor 7 zur Messung von absoluten Drücken bis 200 bar geeignet. Andererseits besitzt er eine Meßgenauigkeit von 1 mbar, damit der Tiefenunterschied 10, der der Eindringtiefe des Pfahls 2 entspricht, auf 1 bis 2 cm genau berechnet werden kann.
- Die Bestimmung der Eindringtiefe des Pfahls 2 geschieht im einzelnen durch das nachfolgend beschriebene Verfahren.

Vor Beginn des Einrammens des Pfahls 2 befindet sich der Drucksensor 7 in der Anfangstiefe 9. In dieser Situation wird vom Computer der Auswerteeinheit 16

- ein erster Meßwert des Drucksensors 7 gemessen und als Referenzwert abgespeichert. Der Computer steuert und überwacht auch den Rammhammer 1 und registriert insbesondere die Anzahl der ausgeführten Rammschläge,
- 5 aus denen man unter Berücksichtigung weiterer technischen Daten der Rammvorrichtung die zum Einrammen des Pfahls 2 aufgewendete Energie berechnen kann. Nach Aufwendung eines bestimmten Energiebetrags, d.h. nach Ausführung einer bestimmten
- 10 Anzahl von Rammschlägen, registriert der Computer einen weiteren Meßwert des Drucksensors 7 und speichert auch diesen ab. Anschließend berechnet er aus der Differenz des vorhergehenden und des nachfolgenden Meßwerts durch Multiplikation dieser
- 15 Differenz mit einem vorbestimmten Kalibrierungsfaktor die zwischen den beiden Meßwerten erzielte Eindringtiefe 10. Wenn die gewünschte Eindringtiefe erreicht ist, kann das Verfahren hier abgebrochen werden.
- 20 Im allgemeinen wünscht man aber ein Protokoll des Rammvorgangs in Form eines Diagramms mit einer größeren Anzahl von Meßwerten, die beispielsweise über die Zeit oder über die Zahl der Rammschläge oder über die Eindringtiefe aufgetragen werden. In diesen
- 25 Fällen werden die Verfahrensschritte ab dem zweiten Verfahrensschritt wiederholt, d.h. ein weiterer Meßwert wird nach Ablauf der vorgegebenen Anzahl von Rammschlägen gemessen, abgespeichert und aus der Differenz zum vorhergehenden Meßwert eine weitere
- 30 differentielle Eindringtiefe berechnet, die wiederum im Diagramm dargestellt wird. Selbstverständlich kann der Computer auch die insgesamt seit Messung des ersten Referenzwertes erzielte Eindringtiefe berechnen.

Da der verwendete Analog-Digital-Wandler 12 bei Fig. 2 nur eine digitale Auflösung von 12 Bit aufweist, kann der vom Drucksensor 7 gelieferte analoge Strom 11 nicht über den gesamten Meßbereich von 200 bar mit der erforderlichen Auflösung von 1 bis 2 mbar verarbeitet werden. Um trotzdem über den gesamten Meßbereich eine ausreichende Auflösung zu erhalten, ist der Subtrahierer 13 und der Verstärker 14 zwischen den Drucksensor 7 und den Analog-Digital-Wandler 12 geschaltet.

Diese Anordnung ist schematisch in Fig. 2 dargestellt. Mittels einer während der Bestimmung der Eindringtiefe 10 konstanten Spannung 20 wird die vom Drucksensor 7 gelieferte analoge Spannung 11 vor Beginn des oben beschriebenen Verfahrens nahezu auf Null herabgesetzt. Dies kann ohne weiteres automatisch geschehen, indem der Einregelungsvorgang durch ein von der Auswerteeinheit 16 geschicktes Startsignal ausgelöst wird. Dabei kann eine geeignete elektronische Schaltung die erforderliche konstante Spannung 20 durch Messung der vom Drucksensor 7 gelieferten momentanen Spannung 11 bestimmen und nach dem Einregeln festhalten.

Der am Ausgang des Subtrahierers 13 verbleibende Restwert 17 ist, wie gesagt, zunächst auf nahezu Null gesetzt, steigt aber im Laufe des Einrammens des Pfahls 2 geringfügig an. Um die digitale Auflösung des Analog-Digital-Wandlers 12 besser ausnutzen zu können, muß der verbleibende Restwert 17 verstärkt werden. Dies geschieht im nachgeschalteten Verstärker 14, der eine Multiplikation des Restwerts 17 mit einem Verstärkungsfaktor 18 bewirkt. Am Ausgang des Verstärkers 14 liegt der verstärkte Restwert 19 an, der auf den Eingang des Analog-Digital-Wandlers 12 gegeben wird. Der

Verstärkungsfaktor 18 wird derart vorgewählt, daß der verstärkte Restwert 19 bei der maximalen erwarteten Eindringtiefe 10 den von dem nachgeschalteten Analog-Digital-Wandler 12 verarbeitbaren Analogwert nicht übersteigt.

Aufgrund der so erzielten Spreizung eines Teilmeßbereichs des Drucksensors 7 wird der gespreizte Teilbereich trotz der begrenzten digitalen Auflösung des Analog-Digital-Wandlers 12 mit ausreichender Meßgenauigkeit über die Signalleitung 15 zur Auswerteeinheit 16 übertragen.

Bei einer in Fig. 3 dargestellten Abwandlung der Erfindung sind Subtrahierer und Verstärker überflüssig, weil hier ein hochauflösender Analog-Digital-Wandler 21 verwendet wird, der eine Auflösung von mehr als 12 bit aufweist.

Bei einer in Fig. 4 dargestellten weiteren Abwandlung der Erfindung erzeugt der Drucksensor 7 zwei Frequenzsignale 23 und 24, die in zwei Frequenz-Digital-Wandlern 25 und 26 digitalisiert werden. Ein erstes Frequenzsignal 23 ist dabei abhängig vom Wasserdruck am Ort des Drucksensors 7, während das zweite Frequenzsignal 24 von der Temperatur am Ort der Druckmessung abhängig ist und zur Kompensation von temperaturabhängigen Abweichungen des Druckmeßwertes vorgesehen ist.

In der nicht gezeigten Auswerteeinheit werden die digitalen Signale aus den Frequenz-Digital-Wandlern 25, 26 ausgewertet und der Druck am Ort des Drucksensors 7 mit hoher Genauigkeit berechnet. Bei der Berechnung werden neben den beiden Frequenzsignalen 23, 24 des Drucksensors 7 auch noch weitere Koeffizienten zur Korrektur des Meßwertes berücksichtigt.

Bei einer in Fig. 5 dargestellten weiteren Abwandlung  
der Erfindung ist die Sensoreinheit mit einer  
digitalseriellen Schnittstelle 22 ausgestattet, die  
mit dem Ausgang des Drucksensors 7 verbunden ist,  
5 dessen Signal sie digitalisiert und seriell an die  
Auswerteeinheit 16 weiterleitet.

Anmelder: MENCK GMBH  
Unser Zeichen: 0033RPA

Vonneman & Partner

Bezugszeichenliste

- |    |    |                                  |
|----|----|----------------------------------|
| 5  | 1  | Rammhammer                       |
|    | 2  | Pfahl                            |
|    | 3  | Versorgungsleitungen             |
|    | 4  | Meeresoberfläche                 |
|    | 5  | Meeresboden                      |
| 10 | 6  | Richtung                         |
|    | 7  | Drucksensor                      |
|    | 8  | aktuelle Tiefe                   |
|    | 9  | Anfangstiefe                     |
|    | 10 | Tiefenunterschied/Eindringtiefe  |
| 15 | 11 | Strom                            |
|    | 12 | Analog-Digital-Wandler           |
|    | 13 | Subtrahierer                     |
|    | 14 | Verstärker                       |
|    | 15 | Signalleitung                    |
| 20 | 16 | Auswerteeinheit                  |
|    | 17 | Restwert                         |
|    | 18 | Verstärkungsfaktor               |
|    | 19 | verstärkter Restwert             |
|    | 20 | konstante Spannung               |
| 25 | 21 | Analog-Digital-Wandler           |
|    | 22 | digital serielle Schnittstelle   |
|    | 23 | erstes Frequenzsignal            |
|    | 24 | zweites Frequenzsignal           |
|    | 25 | erster Frequenz-Digital-Wandler  |
| 30 | 26 | zweiter Frequenz-Digital-Wandler |

P A T E N T A N S P R Ü C H E

- 5        1. Einrichtung zur Bestimmung der Eindringtiefe beim Einbringen von Stützelementen in einen Gewässergrund, gekennzeichnet durch einen an dem Stützelement (2) oder an einer mit dem Stützelement (2) verbundenen Vorrichtung (1) befestigbaren Drucksensor (7) zur Messung des Wasserdrucks, durch eine Vorrichtung (12 bis 15) zur Übertragung der vom Drucksensor (7) gelieferten Meßwerte (11) und durch eine Auswerteeinheit (16) zur Bestimmung von Meßwertdifferenzen, die infolge des Absinkens des Drucksensors (7) beim Eindringen des Stützelements (2) in den Gewässergrund (5) auftreten.
- 10      2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucksensor (7) als Meßwerte elektrische Signale (11) liefert und daß diese Signale (11) oder aus diesen durch Umwandlung gewonnene Signale über eine elektrische Signalleitung (15) zur Auswerteeinheit (16) übertragen werden.
- 15      3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit (16) einen Computer umfaßt, der die Meßwerte automatisch erfaßt und speichert.
- 20      4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer

aus den Meßwertdifferenzen ständig die Eindringtiefe (10) berechnet und anzeigt.

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucksensor (7) zur Messung von absoluten Drücken bis zu 200 bar geeignet ist und eine Meßgenauigkeit in der Größenordnung von 1 mbar aufweist.
10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Signal des Drucksensors (7) aus einer analogen elektrischen Größe, vorzugsweise einem Strom (11) besteht, die über einen Analog-Digital-Wandler (12) in ein digitales Signal umgewandelt und zur Auswerteeinheit (16) übertragen wird.
15. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Drucksensor (7) und dem Analog-Digital-Wandler (12) ein elektronischer Subtrahierer (13) und ein Verstärker (14) geschaltet sind, womit ein vorwählbarer Teilmeßbereich über den gesamten Umwandlungsbereich des Analog-Digital-Wandlers (12) gespreizt werden kann.
20. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Signal des Drucksensors (7) über eine digital serielle Schnittstelle (22) zur Auswerteeinheit (16) übertragen wird.
25. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucksensor (7) ein druckabhängiges

- 5 Frequenzsignal (23) und ein temperaturabhängiges Frequenzsignal(24) liefert und daß die Frequenzsignale (23, 24) über zwei Frequenz-Digital-Wandler (25, 26) digitalisiert und die zwei digitalen Signale an die Auswerteeinheit (16) übertragen werden.
10. 10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucksensor (7) an einem zum Einrammen von Pfählen (2) in den Gewässerboden (5) dienenden Rammhammer (1) befestigt ist und daß die Versorgungsleitungen (3) des Rammhammers (1) auch die Signalleitung (15) des Drucksensors (7) umfaßt.
- 15 11. 11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein für die Überwachung und Steuerung des Rammhammers (1) bestimmter Computer auch zur Erfassung, Speicherung und Auswertung der Meßwerte des Drucksensors (7) dient.
- 20 12. 12. Einrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer auch die Anzahl der Rammschläge registriert und die dafür aufgewandte Energiesumme berechnet.
- 25 13. 13. Verfahren zur Bestimmung der Eindringtiefe beim Einbringen von Stützelementen (2) in einen Gewässergrund (5), unter Verwendung eines zur Messung von Wasserdruck geeigneten und unter Wasser an einem Stützelement (2) oder an einer mit dem Stützelement(2) verbundenen Vorrichtung (1) befestigten Drucksensors (7), gekennzeichnet durch die nachfolgenden Verfahrensschritte:

21

- vor Beginn oder während des Einbringens eines Stützelements (2) wird ein erster Meßwert des Drucksensors (7) gemessen und als Referenzwert festgehalten;
- 5            - nach Aufwendung eines bestimmten Energiebetrags für das Einbringen des Stützelements (2) bzw. nach Ablauf des dafür erforderlichen Zeitintervalls wird ein weiterer Meßwert des Drucksensors (7) gemessen und festgehalten;
- 10            - aus der Differenz des vorhergehenden und des weiteren Meßwerts wird die durch das zwischenzeitliche Einbringen erzielte Eindringtiefe (10) berechnet, vorzugsweise durch Multiplikation der Differenz mit einem geeigneten Kalibrierungsfaktor;
- 15            - falls die gewünschte Eindringtiefe (10) noch nicht ausreicht, werden die Verfahrensschritte ab dem zweiten Verfahrensschritt wiederholt.
- 20            14. Verfahren nach Anspruch 13, durch gekennzeichnet, daß zur Verbesserung der Genauigkeit der Umrechnungsfunktion von Druck in Wegstrecke eine Gezeitenkompensation und/oder eine Erdbeschleunigungskompensation und/oder eine tiefenabhängige Dichteänderung des Wassers berücksichtigt wird.
- 25            15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, durch gekennzeichnet, daß während eines Meßintervalls weitere Daten aus der zum Einbringen des Stützelements (2) dienenden Vorrichtung (1) genommen und

festgehalten werden, insbesondere Daten zur Bestimmung des für das Einbringen des Stützelements (2) erforderlichen Energiebetrags.

- 5        16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden festgehaltenen Meßwert auch ein Zeitpunkt registriert wird.
- 10      17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die aus den Meßwerten berechneten Eindringtiefen (10) in einem Diagramm dargestellt werden.
- 15      18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß vor Beginn der Bestimmung der Eindringtiefe (10) der Meßwert (11) des Drucksensors (7) mittels eines elektronischen Subtrahierers (13) auf nahezu Null herabgesetzt und der verbleibende Restwert (17) mittels eines Verstärkers (14) mit voreinstellbarem Verstärkungsfaktor (18) verstärkt wird, wobei die Größe des Verstärkungsfaktors (18) so vorgewählt wird, daß der verstärkte Restwert (19) bei der maximalen erwarteten Eindringtiefe (10) den höchsten von einem nachgeschalteten Analog-Digital-Wandler (12) verarbeitbaren Analogwert nicht übersteigt.
- 20      19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Herabsetzen des Meßwertes des Drucksensors (7) mittels des Subtrahierers (13) vor Beginn der Bestimmung der Eindringtiefe (10) automatisch erfolgt.
- 25      30

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßwert (11) des Drucksensors (7) mittels eines hochgenauen Analog-Digital-Wandlers (21) mit einer digitalen Auflösung von mehr als 12 bit digitalisiert wird.  
5
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucksensor (7) mit einer digitalseriellen Schnittstelle (22) versehen ist, die eine Auflösung von bis zu 0,05 ppm auf einem Bereich von 3000 PSI aufweist.  
10
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßwert (11) des Drucksensors (7) mittels eines ersten Frequenzsignals (23) und der Meßwert eines Temperatursensors mittels eines zweiten Frequenzsignals (24) übertragen wird.  
15
- 20 23. Verwendung eines zur Messung von Wasserdruck geeigneten Drucksensors (7) für die Bestimmung der Eindringtiefe (10) aus den beim Einbringen von Stützelementen (2) in einen Gewässergrund (5) auftretenden Druckdifferenzen, vorzugsweise mittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 13 bis 22.  
25

Fig. 1

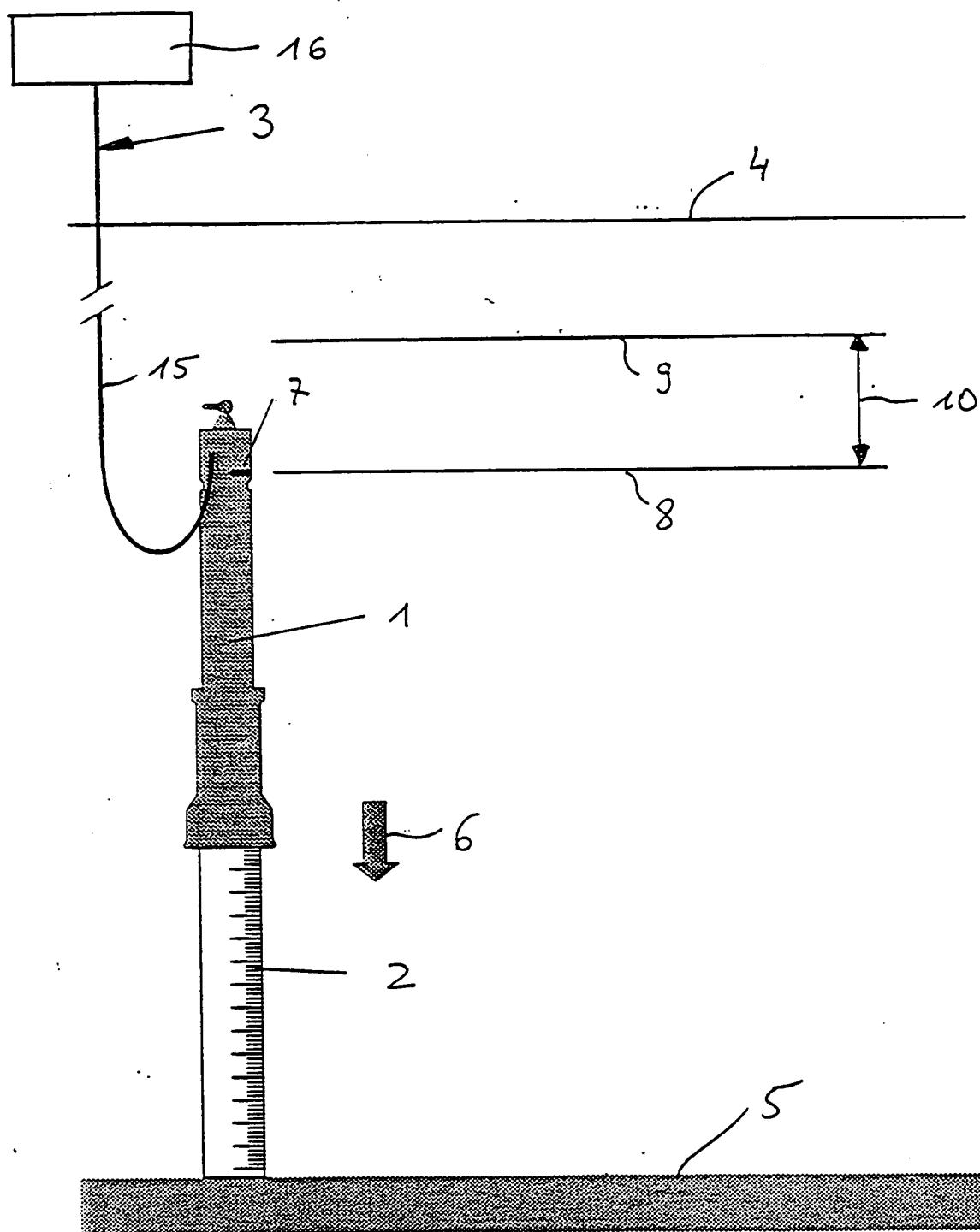
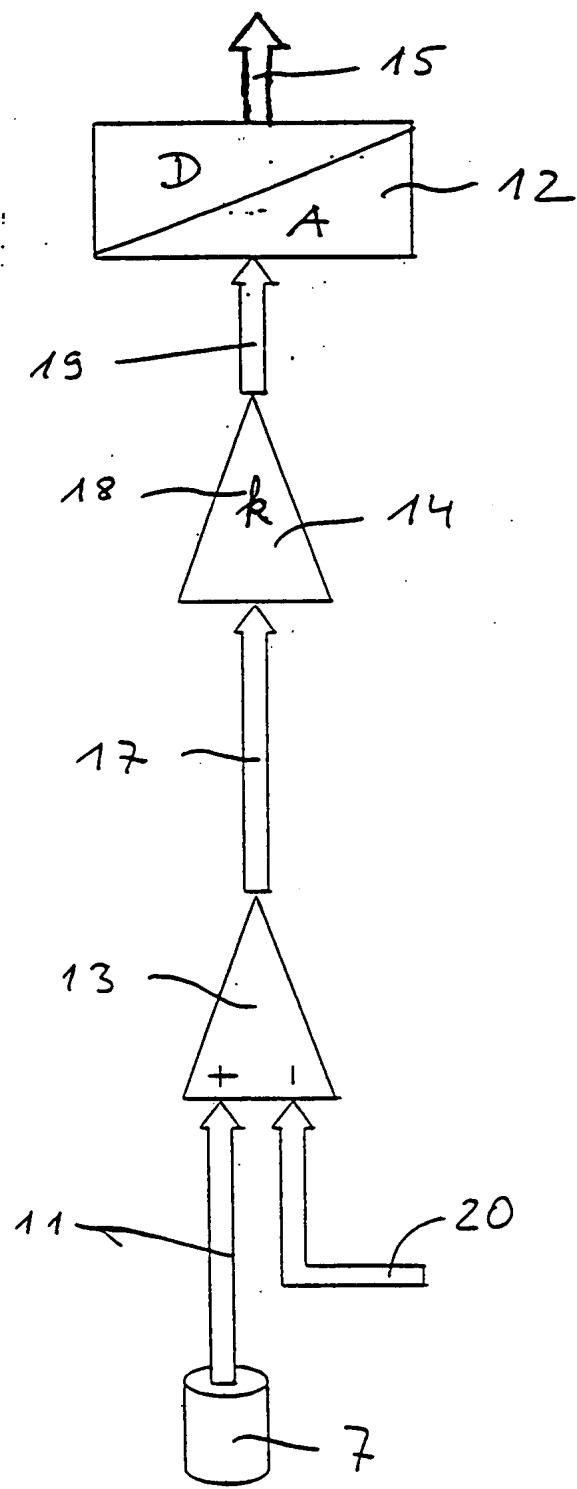


Fig. 2



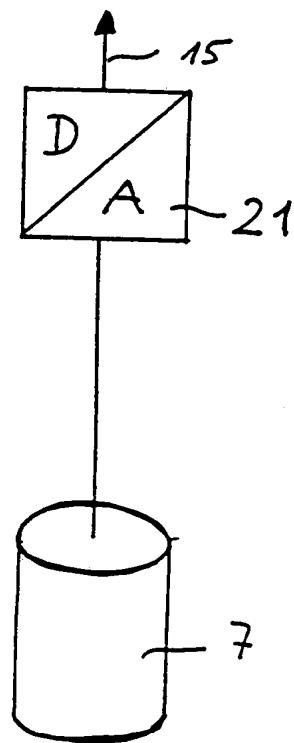


Fig. 3

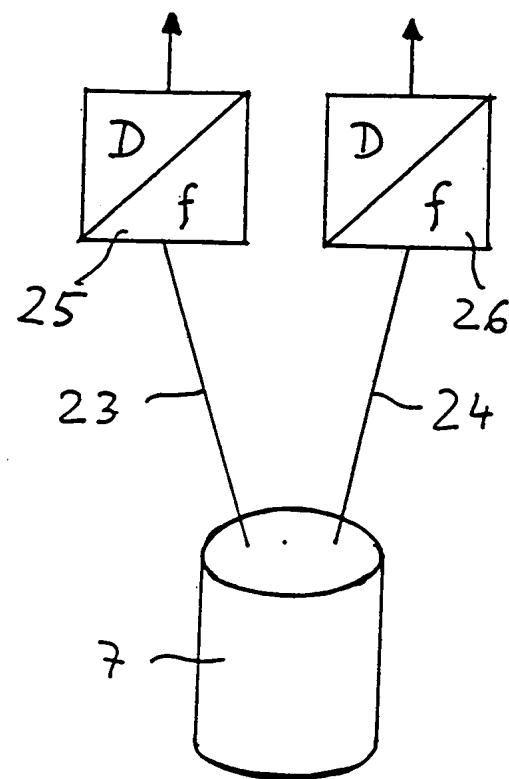


Fig. 4

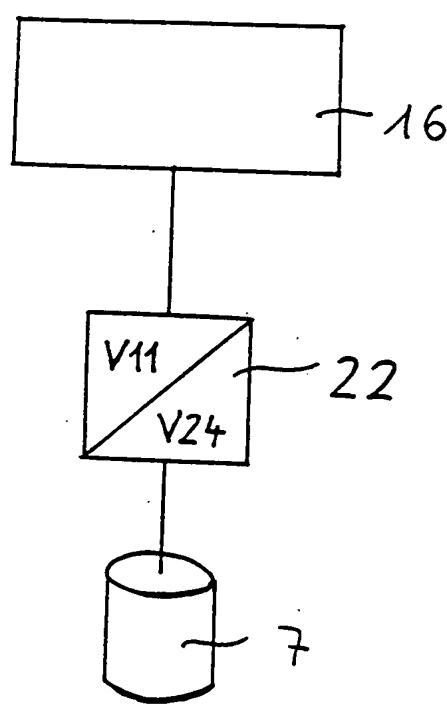


Fig. 5